

С. С. ДОБРОТВОРСКИЙ, д-р. техн. наук, **Е. В. ИВАЩЕНКО**,
НТУ «ХПИ», г. Харьков

HIGH SPEED MACHINING – СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Проведений анализ сучасного стану і принципів високошвидкісної механічної обробки і обґрунтовані сфери її ефективного застосування; розглянуті особливості утворення висоти профілю нерівностей при рядковій обробці високошвидкісним фрезеруванням плоских поверхонь.

Проведён анализ современного состояния и принципов высокоскоростной механической обработки и обоснованы области её эффективного применения; рассмотрены особенности образования высоты профиля неровностей при построчной обработке высокоскоростным фрезерованием плоских поверхностей.

The analysis of the modern state and principles the high-speed machining is conceded at the article below. Effective application directions are proved and the particularities of formation of cusp profile height are shown in processing the high-speed milling of flat surfaces.

Введение

Обработка резанием является основным, наиболее используемым в промышленности процессом размерной обработки деталей. Процесс изготовления деталей со сложными поверхностями на этапе технологической подготовки производства является очень трудоёмким. Сокращение времени цикла механической обработки таких деталей требует применения более эффективных и прогрессивных технологий. Одним из возможных решений является применение высокоскоростной обработки, и, в частности, высокоскоростного фрезерования.

Высокоскоростная обработка: современное состояние вопроса

Высокоскоростная обработка (HSM – High Speed Machining) – это стратегия обработки, при которой сочетается небольшая радиальная глубина резания с высокими подачами. В зависимости от метода достигается быстрое удаление стружки при малых R_a (среднее арифметическое отклонение профиля) значениях. Применение такой стратегии стало возможным с появлением новых конструкций станков и инструментов (с меньшим вылетом), позволяющих снимать металл с большей скоростью резания. Проблему недостаточной надёжности режущего инструмента удалось решить благодаря созданию принципиально новых инструментальных материалов (кубический нитрид бора, модификации алмаза и твёрдые сплавы с улучшенными свойствами). Внедрение современных высокопроизводительных станков с ЧПУ в производство невозможно без знания принципов высокоскоростной механической обработки и сопутствующих ее освоению проблем.

Высокоскоростное резание (фрезерование, шлифование и точение) за последние годы совершило революционный переворот в методах механообработки. Решающий фактор в оценке процесса HSM обработки – производительность станков, которые определяют стоимость производства. В качестве оборудования для HSM наиболее перспективными являются пятиосевые или многоцелевые станки. Такое оборудование способно обеспечить доступ к разным сторонам детали с одной установки, а также позволяет ориентировать плоские элементы по нормали к шпинделю, что значительно повышает производительность механической обработки за счёт уменьшения переустановок и повышения скорости обработки.

Технология HSM относится к числу наиболее прогрессивных и быстро развивающихся. Вместе с тем, этот вид обработки резанием является относительно новым технологическим процессом, и опыт его исследования в Украине весьма ограничен. В-основном, эта тема актуальна в Германии, Франции и США.

HSM обработка – одна из современных и эффективных альтернатив классическим методам механической обработки, которая, по сравнению с обычным резанием, позволяет улучшить качество механообработки.

Идея высокоскоростного резания заключается в переходе на обработку резанием с особо высокими скоростями [6]. При достижении некоторого значения скорости V_{kr} температура резания начинает понижаться и процесс стружкообразования кардинально меняется:

- вместо пластического разрушения при отделении материала срезаемого слоя происходит хрупкое разрушение [7];
- в результате высокой температуры в контактной зоне резания понижается коэффициент трения инструмента об деталь;
- появляются высокочастотные колебания технологической системы;
- из-за локализации пластической деформации сливная стружка переходит в элементарную.

Таким образом, внедрение HSM даёт сразу несколько преимуществ по сравнению с традиционной обработкой [1, 2]:

- увеличение удельного съёма материала в единицу времени;
- повышение производительности и эффективности операции;
- повышение качества обработанной поверхности (при высокоточной настройке инструмента возможно получение обработанной поверхности высокого качества с $Ra < 0,5$ мкм);
- отсутствие проблем стружкодробления и т. д.

Первое официальное объяснение явления HSM было предложено Карлом Саломоном в 1931 году (патент № 523594, April 1931, Германия). Он предположил, что при некоторой скорости резания, которая является в несколько раз выше, чем при обычной механообработке, теплопередача от стружки к инструменту начинает уменьшаться. Справедливо отметить, что

теория, предложенная Карлом Соломоном, не достаточно разработана на сегодняшний день. За рубежом этим вопросом активно занимаются.

Одним из главных достоинств высокоскоростного фрезерования является сокращение количества тепла, возникающего при обработке резанием, которое, во-первых, вызывает износ инструмента, во-вторых, оказывает негативное влияние на качество поверхностного слоя детали. Эффект HSM обуславливается структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций, осуществляемых с большой скоростью) в месте отрыва стружки. Необходимо отметить, что время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой очень мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент просто не успевают нагреваться.

Формирование стружки – наиболее важный аспект HSM. Как известно, источником тепловыделения при резании являются: теплота, образующаяся в результате пластического деформирования металла в зоне стружкообразования; теплота, обусловленная трением стружки о заднюю и переднюю поверхности инструмента [2]. Ориентировочные значения отводимой теплоты следующие: стружкой отводится 25-85% выделившейся теплоты, заготовкой – 10-50%, а инструментом – 2-8%. С увеличением скорости резания доля теплоты, отводимой стружкой, возрастает, так как увеличиваются её объем в единицу времени и температура нагрева. Исследования, проведенные во время HSM обработки с правильно подобранными параметрами, показали, что 75% произведенного тепла отводится со стружкой, 20% – через инструмент, и 5% – через обрабатываемую деталь (рис. 1) [3].

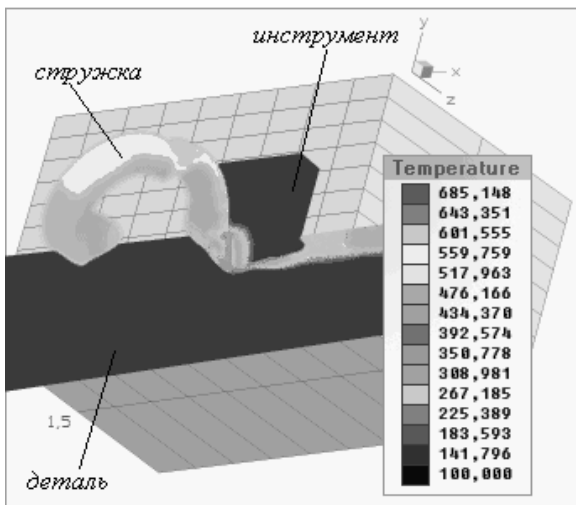


Рис. 1 – Распределение температуры в зоне резания при HSM

Отсюда следует один из наиболее важных принципов теории HSM обработки: наибольшее количество произведенного тепла отводится вместе со стружкой.

HSM – это не просто механообработка с высокой скоростью резания. Это процесс, когда операции обработки (от черновой до финишной, и далее – до суперфинишной) выполняются очень специфическими методами на специальном оборудовании.

Наиболее полно принципы и возможности HSM реализуются при 5-ти осевом фрезеровании.

Особенности высокоскоростного фрезерования

При фрезеровании высокоскоростная обработка (HSC – High Speed Cutting) определяется скоростью резания, которая, в свою очередь, зависит от частоты вращения шпинделя при той же скорости резания и наоборот.

Благодаря более высокой скорости обработки возможно получение более узких зазоров между рядами (строками) фрезерования, что способствует улучшению качества поверхности детали (т. е. уменьшению остаточной шероховатости и улучшению точности формы) (рис.2) (табл.1). Такое качество поверхности очень часто полностью исключает необходимость в дополнительных видах обработки.

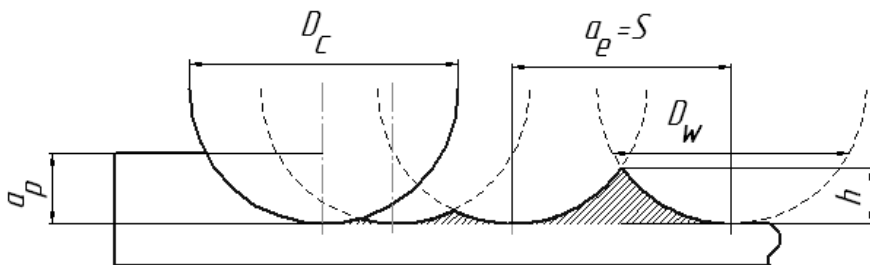


Рис. 2 – Влияние расстояния между строками на теоретическую шероховатость при построчном фрезеровании плоской поверхности: D_c – диаметр фрезы, a_p – глубина резания (мм), $a_e = S$ – ширина резания (мм), D_w – рабочий диаметр фрезы (мм), h – высота «гребешка»

Высота профиля (гребешка) неровностей (H) на плоской поверхности (поверхностей 1-го порядка) после обработки фрезерованием на высоких скоростях определяется по формуле (1) [4]:

$$H = \frac{D_c}{2} - \frac{\sqrt{D_c^2 - a_e^2}}{2}, \quad (1)$$

где D_c – диаметр фрезы (мм);

a_e – ширина резания (мм)/ радиальная глубина резания (мм).

Одним из важных показателей, влияющих на высоту гребешка, оставляемого сферической фрезой после высокоскоростной обработки поверхности является рабочий диаметр фрезы D_w

$$D_w = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (D_c - a_p)}, \quad (2)$$

где a_p – глубина резания (мм)/ осевая глубина резания (мм).

Формула (1) справедлива для определения теоретической высоты неровностей только при обработке плоских поверхностей.

На основании результатов исследований предоставленных специалистами компании SECO нами были определены значения высоты профиля неровностей H (мкм) [5], оставляемые рядом HSM инструмента (таб. 1).

Таблица 1

Расчётные значения высоты профиля H (мкм)

D_c	Шаг a_e (мм)						
	0,06	0,08	0,11	0,15	0,2	0,3	0,45
1	0,9	1,6	3,0	5,7	10	23	53
2	0,45	0,8	1,5	2,8	5,0	11	26
4	0,23	0,40	0,76	1,4	2,5	5,6	13
6	0,15	0,27	0,50	0,94	1,7	3,8	8,4
8	0,11	0,20	0,38	0,70	1,3	2,8	6,3
10	0,09	0,16	0,30	0,56	1,0	2,3	5,1
12	0,08	0,13	0,25	0,47	0,83	1,9	4,2

Для определения теоретической шероховатости после обработки высокоскоростным фрезерованием поверхностей 2-го, 3-го... n-го порядка, являющихся составляющими сложно-пространственных деталей формула (1) будет меняться с учетом ряда факторов, таких как: радиус кривизны поверхности; угол наклона, заданный через параметры наклона поверхности и др. Сейчас этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Области эффективного применения

HSM применяется при обработке пресформ на получистовых и чистовых операциях по упрочнённой стали (48-62 HRC) за короткое машинное время. Эта технология может также применяться для большинства других материалов при использовании правильного инструмента и прогрессивных методов обработки в следующих секторах промышленности:

- Промышленность, которая имеет дело с механообработкой алюминиевых сплавов для производства компонентов автомобилей, корпусов для приборов или медицинских устройств. Эта промышленность нуждается

в высокопроизводительном процессе удаления металла, потому что технологический процесс состоит из многих операций механообработки.

- Авиационно-космическая промышленность, в которой производится механообработка крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов, часто с тонкими стенками. Экономически выгодно выполнить все операции обработки за одну установку.

- Инструментальная промышленность, в которой требуется производить чистовую обработку твердых материалов. В этой отрасли важно обрабатывать детали с высокой скоростью и сохранить при этом высокую точность. Используя HSM, можно перепланировать процесс производства за счет сокращения стадий фрезерования электродов (ECM) и электроэрозионной обработки (EDM).

Заключение

Высокоскоростная обработка является высокоперспективным процессом. Возможность применения высоких технологий с использованием высокоскоростного оборудования и современной инструментальной оснастки открыло новые возможности в металлообрабатывающей промышленности, в том числе, и, получение качественно новых характеристик обрабатываемых деталей. Методы высокоскоростной обработки (HSM) обеспечивают существенную экономию при обработке закаленных материалов оформляющих элементов штампов и пресс-форм, при изготовлении которых возникает необходимость получения очень высокого качества рабочих поверхностей. Возможности в расширении номенклатуры обрабатываемых изделий высокоскоростным фрезерованием исследуются. Пути дальнейшего совершенствования высокоскоростной обработки: 1) увеличение скорости обработки; 2) увеличение подачи; 3) повышение точности обработки и качества поверхностного слоя, что в перспективе даст возможность отказаться от финишных операций и увеличит надёжность и долговечность обработанных деталей.

Прогнозирование и управление качеством поверхностного слоя обработанной детали в условиях HSC является важной задачей в современном машиностроении.

Список литературы: 1. С.В. Лукина, Ю. Б. Гуляев. Особенности высокоскоростной обработки с использованием сборных торцовых фрез// Справочник. Инженерный журнал №8, 2005, стр. 27-31 2. Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман и др. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2001.– 638с.: ил. 3. А. Степанов. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве// CAD/CAM/CAE observer №3, 2002 4. И. А. Дружинский. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленинград. Отд-ние, 1895. – 263 с.: ил. 5. Каталог металлорежущего инструмента компании SECO, 2008. – 169 с.: ил. 6. В.Н. Подураев. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: «Высш. школа», 1974. – 587с.: ил. 7. Schulz H. Aspect in Cutting Mechanism in High Speed Cutting / H. Schulz, G. Spur // Annals of CIPR. 1989. V. 38. № 1. P. 51 - 54.

Поступило в редколлегию 15.03.10